

مدل تحلیل عاملی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس‌های بین شهری

شهریار افندی‌زاده^{*}، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

امیرمسعود رحیمی، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

E-mail: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۸۶/۰۴/۳۱ - پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۰۲

چکیده

در مدلسازی تقاضای سفرهای مسافری بین شهری به ویژه در مدل‌های ایجاد سفر یا در مدل‌های مستقیم تقاضا، معمولاً ۳ تا ۴ پارامتر مستقل مؤثر بر تقاضا به صورت کلاسیک انتخاب شده، سپس مدل‌های ریاضی ساخته و کالیبره می‌شوند. فرآیند انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر، یکی از مهم‌ترین اجزای مدلسازی است که کمتر توسط پژوهشگران به آن پرداخته شده است. مدل‌های مستقیم تقاضا معمولاً شامل متغیرهای جمعیتی، خصوصیات اقتصادی - اجتماعی و شاخص‌های بین ناحیه‌ای برای مدهای مختلف (هزینه‌ها، زمان‌های سفر، تواتر سرویس) هستند. در این مقاله پارامترهای مؤثر بر ایجاد تقاضای سفر با اتوبوس جمعیت، تعداد دانشجویان دانشگاه‌های آزاد و دولتی، میزان اشتغال، درآمد سرانه ماهانه خانوارهای شهری، ارزش افزوده فعالیت کارگاه‌های صنعتی، تعداد مشترکین تلفن همراه، و تعداد تخته‌های مجتمع‌های اقامتی در نظر گرفته شده است. همچنین زمان سفر و کرایه حمل به عنوان پارامترهای مؤثر بر انتخاب مد سفر با اتوبوس بین شهری در نظر گرفته شده است. در این مقاله، شیوه انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری، بر اساس ناحیه‌بندی استانی در شبکه کشور با تدوین یک مدل تحلیل عاملی کام به کام ارایه و سپس اعتبارسنجی آن بیان شده است. ارزیابی نتایج حاصل از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری نشان می‌دهد که می‌توان ۳ عامل را از بین ۹ متغیر مورد بررسی واقع شده استخراج کرد. عواملی که از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی در این مقاله تعیین می‌شوند با اطمینان حدود ۹۰ درصد، در تبیین پارامتر وابسته معنادار بوده‌اند. به این ترتیب با بکارگیری عوامل اصلی به دست آمده از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی می‌توان فرآیند مدلسازی تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری را از طریق کاربرد کوچک‌ترین مفاهیم تبیین‌کننده به منظور تبیین بیشترین مقدار واریانس مشترک در ماتریس همبستگی به انجام رساند.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل جاده‌ای، تقاضای حمل و نقل، عوامل مؤثر بر تقاضای سفر اتوبوس بین شهری

۱. مقدمه

در شبکه حمل و نقل کشور، نقش بسزایی داشته باشد. بنابراین برنامه‌ریزی‌های بلندمدت برای این سیستم به منظور افزایش بهره‌وری و حفظ سهم قابل توجه آن در جابجایی مسافر، در بین شیوه‌های مختلف حمل و نقل کشور ضروری است. در این میان پیش‌بینی تقاضای مسافر برای استفاده از مد جاده‌ای از اساسی‌ترین اقدامات برای پشتیبانی تصمیم‌گیری صحیح مدیران و اداره‌کنندگان سیستم خواهد بود. یکی از مهم‌ترین اجزای

تراکم ترافیک در کریدورهای بین شهری به گونه‌ای یکنواخت و دائمی در حال افزایش است و پیامد این افزایش را می‌توان تأثیر منفی بر توسعه اقتصادی، بهره‌وری ملی و کیفیت محیط زیست دانست [Bhat, 1995]. با در نظر گرفتن امکان ارایه خدمات گسترده حمل و نقل جاده‌ای در اکثر مناطق کشور (به دلیل انعطاف پذیری در انتخاب مسیر، ایمنی نسبی و ارزانی)، سیستم اتوبوسرانی بین شهری می‌تواند در جابجایی مسافران بین شهری

و آ.ب.کاتل^{۱۲} کمک‌های قابل توجهی به توسعه مفاهیم تکنیک تحلیل عاملی کرده‌اند. در اوایل سال ۱۹۳۰ میلادی، مشخص شد که مدل عمومی اسپیرمن برای توصیف روابط بین متغیرهای یک مجموعه همیشه کافی نیست [۴].

۲. مفاهیم تکنیک تحلیل عاملی و کاربرد آن

مفروض بنیادی در تکنیک تحلیل عاملی این است که عاملهای زیربنایی متغیرها را می‌توان برای تبیین پدیده‌های پیچیده بکار برد و همبستگی‌های مشاهده شده بین متغیرها حاصل اشتراک آنها در این عاملهاست. عامل، متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی نمره‌های اصلی متغیرهای مشاهده شده بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود [حیدرعلی، ۱۳۸۰]:

$$F_j = W_{j1} \cdot X_1 + W_{j2} \cdot X_2 + \dots + W_{jp} \cdot X_p = \sum_{i=1}^p W_{ji} \cdot X_i \quad (1)$$

که در آن:

W ها بیانگر ضرایب نمره عوامل، و P معرف تعداد متغیرهاست. در تکنیک تحلیل عاملی، امید بر آن است که تعداد کمی از عاملها (یعنی ترکیب‌های خطی نمره‌های اصلی متغیرهای مشاهده شده) بتوانند تقریباً همه اطلاعاتی را که توسط مجموعه بزرگ‌تری از متغیرها به دست می‌آیند دربر گرفته و نتیجتاً توصیف ویژگیهای مورد انتظار پارامتر وابسته را ساده سازند.

تحلیل عاملی را می‌توان بر اساس دو نوع کاملاً متفاوت از تحلیل یعنی تحلیل مؤلفه‌ای و تحلیل عامل مشترک انجام داد. مبانی ریاضی دو نوع تحلیل مذکور، بر حسب مقدار و نوع واریانس هر متغیر J (X_j) که توسط عامل‌های موجود در مدل توجیه می‌شود، متفاوت است.

ه.عبدی^{۱۳} در سال ۲۰۰۳ میلادی می‌گوید: تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی^{۱۴} قدیمی‌ترین و فراگیرترین روش در تحلیل چند متغیری است. هدف از انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تجزیه یک مجموعه داده‌ها با مقادیر همبسته به یک مجموعه جدید از متغیرهای ناهمبسته است [Abdi, 2003]. تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی براساس نظر جولیفای، یک تکنیک کلاسیک برای کاهش ابعاد یک مجموعه از داده‌ها به وسیله انتقال به یک مجموعه جدید از متغیرها (مؤلفه‌های اصلی) به منظور خلاصه سازی ساختار آنهاست [Yeung and Ruzzo, 2001]. در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی مقدار متغیر استاندارد (Z_j) از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$z_j = a_{j1} \cdot F_1 + a_{j2} \cdot F_2 + \dots + a_{jp} \cdot F_p \quad (2)$$

مدلسازی تقاضای سفرها، فرآیند انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر است، زیرا اگر از ابتدا تعداد متغیرهای بیشتری بررسی و مورد ارزیابی قرار گیرند، ممکن است نتایج بهتری به دست آید. همچنین ممکن است برخی از متغیرها دارای اثرات مشابه بوده، ولی در مدل به‌طور همزمان گنجانده شوند که نهایتاً باعث کاهش ضریب تبیین مدلها شده و از اعتبار مدلها کاسته می‌شود.

به منظور ارزیابی روابط بین متغیرها، روشهای گوناگون آماری وجود دارد. تکنیک تحلیل عاملی یکی از روشهای آماری است که در تحلیل جداول یا ماتریس‌های ضرایب همبستگی بکار گرفته می‌شود. روش‌های گوناگون تکنیک تحلیل عاملی بسیار کلی هستند، به طوری که می‌توان از آنها در همبستگی‌های بین متغیرهای از هر نوع (مثلاً متغیرهای اقتصادی، فیزیکی، اجتماعی و ...) استفاده کرد. بررسی و ارزیابی مستقیم ماتریس‌های مربوط به ضرایب همبستگی نشان‌دهنده آن است که تفسیر شهودی ساده‌ای از الگوی روابط بین متغیرها امکان‌پذیر نیست. در این شرایط، پژوهشگر به تکنیکی برای تحلیل متغیرها نیاز دارد که به وی در تفسیر معنادار متغیرهایی که با یکدیگر مرتبطند، کمک کند. تکنیک تحلیل عاملی، روش ایده‌آلی برای دستیابی به چنین اهداف و منظورهایی است [دلاور و نقشبندی، ۱۳۸۶] که در این مقاله نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در حقیقت تحلیل عاملی، تکنیکی است که برای شناسایی عواملی که به طور آماری اختلاف مشترک میان اندازه‌گیری‌ها را توضیح می‌دهند، بکار می‌رود [Wunesch, 2006]. در تکنیک تحلیل عاملی ابتدا مجموعه متغیرهای اصلی، به تعداد کمتری از متغیرها که عامل^۲ نامیده می‌شوند، کاهش می‌یابد. سپس باید معنای عامل به علت ویژگی‌های ساختاری که ممکن است در این مجموعه روابط پنهان باشند، روشن شود. فرآیند کاهش تعداد متغیرها و همچنین توصیف و تفسیر مفاهیم ساختاری در شناخت تکنیک تحلیل عاملی از اهمیت بسزایی برخوردار است [دلاور و نقشبندی، ۱۳۸۶].

نخستین کاربرد تکنیک تحلیل عاملی توسط چارلز اسپیرمن^۳ در سال ۱۹۰۴ میلادی صورت گرفت. بسیاری از پژوهش‌های اولیه به روش تکنیک تحلیل عاملی در طول سالهای دهه ۱۹۰۰ تا ۱۹۳۰ میلادی، به کاربرد مدل اسپیرمن در بسیاری از مسائل علمی و بررسی شرایط مناسب برای استفاده از مدل او اختصاص یافته‌اند. در طول این دوره، علاوه بر اسپیرمن، پژوهشگران دیگری چون سیریل برت^۴، کارل هولزینگر^۵، ترومن کلی^۶، کارل پیرسون^۷، گادفری تامسون^۸، ل.ل. ترستون^۹، ه.هوتلینگ^{۱۰}، ج.پ. گیلفورد^{۱۱}

مشخص کردن این موضوع است که یک عامل معین در حقیقت چه چیز را اندازه می گیرد، و در انجام این کار، مقادیر a_j^2 ها مفید خواهد بود. مقادیر a_j^2 نشان می دهد که در یک عامل معین، چه متغیرهایی کمترین و بیشترین سهم را دارند. بنابراین هر عامل غالباً به عنوان شاخص ویژگی یا ویژگی هایی در نظر گرفته می شود که توسط X های همراه با بزرگ ترین مقدار a_j^2 اندازه گیری می شود [حیدرعلی، ۱۳۸۰].

۳. مراحل اجرای تکنیک تحلیل عاملی

اجرای تکنیک تحلیل عاملی در این مقاله شامل دو مرحله استخراج و چرخش عامل است. هدف اصلی از مرحله اول، اتخاذ تصمیم درباره تعداد عوامل اصلی در یک مجموعه از متغیرهای اندازه گیری شده است. هدف مرحله دوم، دستکاری نتایج آماری (چرخش عاملها) به منظور قابل تفسیر کردن عوامل و همچنین تصمیم گیری درباره عوامل اصلی از مجموعه متغیرهای اندازه گیری شده است.

در مرحله اول، استخراج عوامل از ماتریس همبستگی، با استفاده از یکی از شیوه های اجرایی نظیر روش تحلیل مؤلفه های اصلی صورت می پذیرد [Wunesh, 2005]. روشهای استخراج عوامل را بر اساس مفروضه هایی که از لحاظ نمونه برداری آزمودنیها و متغیرها ایجاد می کند، و همچنین این نکته که تحلیل عاملی از نوع اکتشافی است یا تأییدی، می توان طبقه بندی کرد. هنگامی که شواهد کافی قبلی و پیش تجربی برای تشکیل فرضیه درباره تعداد عاملهای زیربنایی داده ها در دسترس نباشد و در واقع این تمایل وجود داشته باشد که درباره تعیین تعداد و ماهیت عواملی که همپراشی^{۱۵} بین متغیرها را توجیه می کند، داده ها مورد ارزیابی قرار گیرند باید از تحلیل اکتشافی استفاده شود. به گفته استیونس در سال ۱۹۹۶ میلادی، تحلیل اکتشافی به عنوان یک روش تدوین و تولید تئوری بوده و یک روش آزمون تئوری نیست. تحلیل عاملی تأییدی در واقع یک مدل آزمون تئوری است. در این شیوه تحلیل با یک فرضیه قبلی شروع می شود. این مدل که مبتنی بر یک پایه تجربی و تئوری قوی است، مشخص می کند که کدام متغیرها با کدام عوامل و همچنین کدام عوامل با کدامیک از عوامل دیگر همبسته می شوند. همچنان که قبلاً نیز اشاره شد، روشهای مختلف تحلیل عاملی ابتدا به استخراج یک مجموعه از عوامل از مجموعه متغیرها کمک می کنند. این عوامل تقریباً همیشه به صورت یک ماتریس راست گوشه بوده و بر اساس سهمی از واریانس داده های اصلی که برای توصیف آنها به وجود

که در آن: a_{jp} معرف وزن F_p و هر یک از n متغیر مشاهده شده به گونه خطی بر حسب n مؤلفه جدید $F_1, F_2, \dots, F_n$ (که فرض می شود به یکدیگر نایسته هستند) توصیف می شود. بر اساس این مدل:

$$z_{ji} = \left(\frac{X_{ji} - \bar{X}_j}{\sqrt{V_j}} \right)$$
 (۳)

استاندارد (ترکیب خطی n مؤلفه یا عامل نایسته است که بر اساس مقادیر F با ضرایب a وزن داده شده است. همچنین V_j به صورت رابطه ۳ تعریف می شود:

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^p (X_{ji} - \bar{X}_j)^2}{n}$$

توجه داشته باشید که در این مدل، تعداد عوامل یعنی m برابر با تعداد متغیرها یعنی n است. به منظور درک بهتر مفهوم عامل در تحلیل عاملی، مناسب است که واریانس متغیر Z_j بر حسب عناصر این مدل نمایش داده شود. به این منظور، بر اساس تعریف واریانس، رابطه ۴ را داریم:

$$V(z_j) = \frac{\sum_{i=1}^n z_{ji}^2}{n} = 1$$
 (۴)

یعنی واریانس متغیر استاندارد Z_j برابر با یک است. با ایجاد تغییراتی در رابطه ۴ برای تحلیل عامل مشترک می توان رابطه ۵ را نشان داد که:

$$\sum a_j^2 + u_j^2 = 1$$
 (۵)

پس کل واریانس Z_j را می توان به عنوان مجموع m مؤلفه یعنی a_j^2 ها و یک عامل یگانه u_j^2 بیان کرد. یعنی a_j^2 ها و u_j^2 را می توان به عنوان واریانس در نظر گرفت (u_j معرف یک عامل یگانه است که سهم یگانه متغیر X_j را در Z_j توجیه می کند). به همین ترتیب برای تحلیل مؤلفه اصلی چون $u_j = 0$ است، خواهیم داشت: $\sum a_j^2 = 1$

مقدار a_j^2 افزون بر ارایه اطلاعاتی درباره نسبت واریانس توجیه شده توسط عامل F_p ، به توصیف این مطلب کمک می کند که عوامل چه چیز را اندازه می گیرند. یک عامل در حقیقت یک متغیر است، در همان معنی که X ها متغیر هستند، بنابراین همانند X ها، اندازه ای از یک صفت یا ویژگی است. اما اندازه گیری عاملها نه به گونه مستقیم، بلکه به طور غیر مستقیم بر حسب X ها انجام می شود. یکی از نکات مهم در تکنیک تحلیل عاملی،

مهم ترین فعالیت در این تکنیک دانست که شیوه مدونی برای آن وجود ندارد.

۴. تدوین مدل تحلیل عاملی انتخاب عوامل مؤثر

بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری

همانند آنچه در روش کلاسیک تحلیل تقاضای سفرهای شهری وجود دارد، تحلیل رفتار سفرهای بین شهری نیز تصمیم‌گیری در مورد سفرها را در ۴ زیر تصمیم مورد بررسی قرار می‌دهد: ایجاد سفر^{۲۰}، توزیع سفر^{۲۱}، تفکیک سفر^{۲۲}، (انتخاب مُد) و تخصیص ترافیک^{۲۳} [Ortuzar and Willumsen, 2001]. با توجه به این که در این پژوهش ارزیابی سفر با اتوبوس بین شهری مد نظر است، بنابراین مبدأ و مقصد سفرها در داخل شبکه تعیین شده است و از این روی مراحل توزیع سفر و تخصیص ترافیک حائز اهمیت نبوده و تنها بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد سفر و انتخاب مُد ضروری است.

مهم‌ترین و متداول‌ترین پارامترهای کلاسیک مؤثر بر ایجاد سفرهای بین شهری مسافری را می‌توان عواملی چون جمعیت، وضعیت اشتغال، میزان درآمد سرانه، رشد ناخالص داخلی یا ملی دانست. نظر به این که تعیین رشد ناخالص داخلی برای دو استان کشور به سادگی امکان پذیر نبوده و داده‌های مورد نیاز آن قابل دسترسی نیست، بنابراین می‌توان بجای آن از ارزش افزوده فعالیت‌های صنعتی استان‌ها استفاده کرد.

همچنین مهم‌ترین پارامترهای کلاسیک مؤثر بر انتخاب مُد در سفرهای بین شهری مسافری را می‌توان شامل زمان سفر، هزینه سفر و کیفیت سرویس دانست. با در نظر گرفتن این نکته که کیفیت سرویس، یک پارامتر کیفی است و ارزیابی آن به شیوه کمی بسیار دشوار است، معمولاً در مدل سازی سفرها به منظور تعیین کیفیت سرویس از اجزای زمان سفر برای کمی کردن آن استفاده می‌شود، بنابراین می‌توان با ارزیابی دقیق پارامتر زمان سفر، از عامل کیفیت سفر چشم پوشی کرد. بررسی‌های شهودی به عمل آمده در مورد سفرهای مسافری اتوبوس بین شهری در شبکه کشور، نشان داد که بخش قابل توجهی از سفرهای بین شهری، به جابجائی دانشجویان دانشگاه‌های مختلف اختصاص دارد. بنابراین، این پارامتر نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر ایجاد سفرهای اتوبوس بین شهری در سیستم حمل و نقل جاده‌ای کشور در نظر گرفته شده است. همچنین ملاحظه شد که ایجاد سفرهای تفریحی - سیاحتی - زیارتی مسافری بین شهری

آمده‌اند، منظم شده‌اند. به منظور تفسیر عواملی که مرتبط هستند، گام دوم به چرخش عوامل اختصاص خواهد یافت. ه.عبدی^{۱۶}، در سال ۲۰۰۳ میلادی بیان می‌کند که: اصلی‌ترین دلیل اساسی و منطقی برای چرخش عوامل در پژوهش‌های ترستون در سال ۱۹۴۷ میلادی و کاتل در سال ۱۹۷۸ میلادی ملاحظه می‌شود که هر دو، از چرخش عوامل در کارهای خود دفاع کرده‌اند، زیرا این روش باعث ساده شدن ساختار عوامل شده و در نتیجه تفسیر آنها را ساده‌تر و منطقی‌تر می‌کند [Abdi, Herve, 2003, Multivariate...]. به منظور دستیابی به ساختار ساده در روش متعامد، سه شیوه برای چرخش عوامل وجود دارد: شیوه کواریتماکس^{۱۷}، شیوه واریماکس^{۱۸} و شیوه اکوماکس^{۱۹} [حیدرعلی، ۱۳۸۰].

اگر چه ماتریس چرخش نیافته عوامل برای نمایش اصول کلی نتایج کفایت می‌کند، ولی معمولاً تفسیر نتایج تکنیک تحلیل عاملی بر اساس ماتریس ساختار عاملی چرخش یافته انجام می‌شود. آخرین نکته در زمینه تحلیل عاملی به انتخاب روش چرخش بستگی دارد. کاربرد هر یک از روشهای چرخش به هدف پژوهشگر بستگی دارد. بنابراین پژوهشگر باید ابتدا تصمیم بگیرد که عوامل باید همبسته یا ناهمبسته باشند. به‌طورکلی، اگر پژوهشگر بخواهد نتایج حاصل از تحلیل او دارای بهترین برازش با داده‌ها باشد، باید از روش چرخش متمایل استفاده کند. اما اگر پژوهشگر علاقه بیشتری به تعمیم پذیری نتایج داشته باشد، باید روش چرخش متعامد را بکار گیرد. مزیت اصلی روش چرخش متمایل در این است که نتایج حاصل از آن بهترین برازش را با داده‌ها دارد، زیرا به شدت تحت تأثیر اندازه‌گیری‌های خاص گروه نمونه است. در روش چرخش متمایل، درجه همبستگی بین عوامل از یک مطالعه به مطالعه دیگر تغییر می‌کند و در نتیجه نتایج حاصل از چرخش متمایل (به سبب خطای نمونه برداری) کمتر احتمال دارد که در مطالعات آینده دوباره به دست آیند. مزیت اصلی روش چرخش متعامد در این است که نتایج حاصل از آن بهترین برازش را با داده‌های گذشته و آینده دارد. بنابراین نتایج چرخش متعامد به احتمال زیاد در مطالعات آینده تجدید و تکرار می‌شود و همچنان که توسط پژوهشگران قبلی نیز به دست آمده است. آخرین فعالیت در اجرای تکنیک تحلیل عاملی، توصیف و تفسیر واقعی نتایج است که نیازمند خلاقیت، ابتکار، نبوغ، تجربه و شناخت بسیار، از داده‌های مورد تحلیل است. در واقع می‌توان توصیف و تفسیر نتایج حاصل از اجرای تکنیک تحلیل عاملی را

مواجه خواهیم بود^{۲۴}) تعیین شده در این پژوهش وضعیت مقادیر و تغییرات هر یک از این پارامترها برای سال ۱۳۸۳ از منابع اطلاعاتی مربوط استخراج و در پایگاه اطلاعاتی این پژوهش^{۲۵} ثبت شده است [سالنامه آماری کشور، ۱۳۸۳ و سالنامه آماری حمل و نقل، ۱۳۸۳]. شایان ذکر است با توجه به این که اطلاعات مربوط به اکثر عوامل در نظر گرفته شده به عنوان پارامترهای مؤثر بر مدلسازی تقاضای سفر جاده‌ای تنها بر حسب استانهای کشور و به طور کلان قابل دستیابی هستند، بنابراین مبنای انتخاب زوج شهرها برای این پژوهش، مراکز استان‌ها بوده است. در مرحله بعدی با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی به ارزیابی متغیرها و کاهش داده‌ها از ۹ متغیر به ۲ تا ۳ متغیر جدید (عامل) پرداخته خواهد شد. فلوچارت گام به گام مدل تحلیل عاملی پیشنهادی شیوه انتخاب عوامل اصلی مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری، در شکل ۱ ارائه شده است.

۵. اعتبارسنجی مدل پیشنهادی انتخاب عوامل

مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری

با توجه به پیچیدگی‌های محاسبات تکنیک تحلیل عاملی، در این پژوهش از نرم افزار SPSS 13 با شیوه اجرایی تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش چرخش واریماکس استفاده شده است. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی، عامل‌ها همه واریانس هر متغیر از جمله واریانس مشترک با سایر متغیرهای مجموعه (کوواریانس)، و نیز واریانس اختصاصی متغیر J را توجیه می‌کند. در نتیجه در تحلیل مؤلفه‌ای، تعداد عامل‌ها (مؤلفه‌ها) از دیدگاه نظری باید با تعداد متغیرها برابر باشد، زیرا همه واریانس هر متغیر باید توسط عوامل توجیه شود. شیوه واریماکس که توسط کیسر توسعه داده شده، در حقیقت "عوامل را تمیز می‌کند"، یعنی عواملی تولید می‌کند که با مجموعه کوچک‌تری از متغیرها دارای همبستگی قوی و با مجموعه دیگری از متغیرها دارای همبستگی ضعیف باشد. این روش به ساده‌سازی ستون‌های ماتریس عاملی می‌پردازد و در آن فرآیند ساده‌سازی معادل با بیشینه کردن واریانس مجذور بارهای عاملی هر ستون است. پایگاه اطلاعاتی داده‌های این پژوهش در محیط نرم‌افزار صفحه گسترده Excel XP ایجاد شده و سپس در محیط Data Editor نرم افزار SPSS 13 فراخوانی و آنالیز شده است. با توجه به تفاوت مقادیر پارامتر وابسته و مقادیر پارامترهای مستقل در مسیرهای رفت و برگشت، تحلیل آنها به‌طور جداگانه انجام گرفته است.

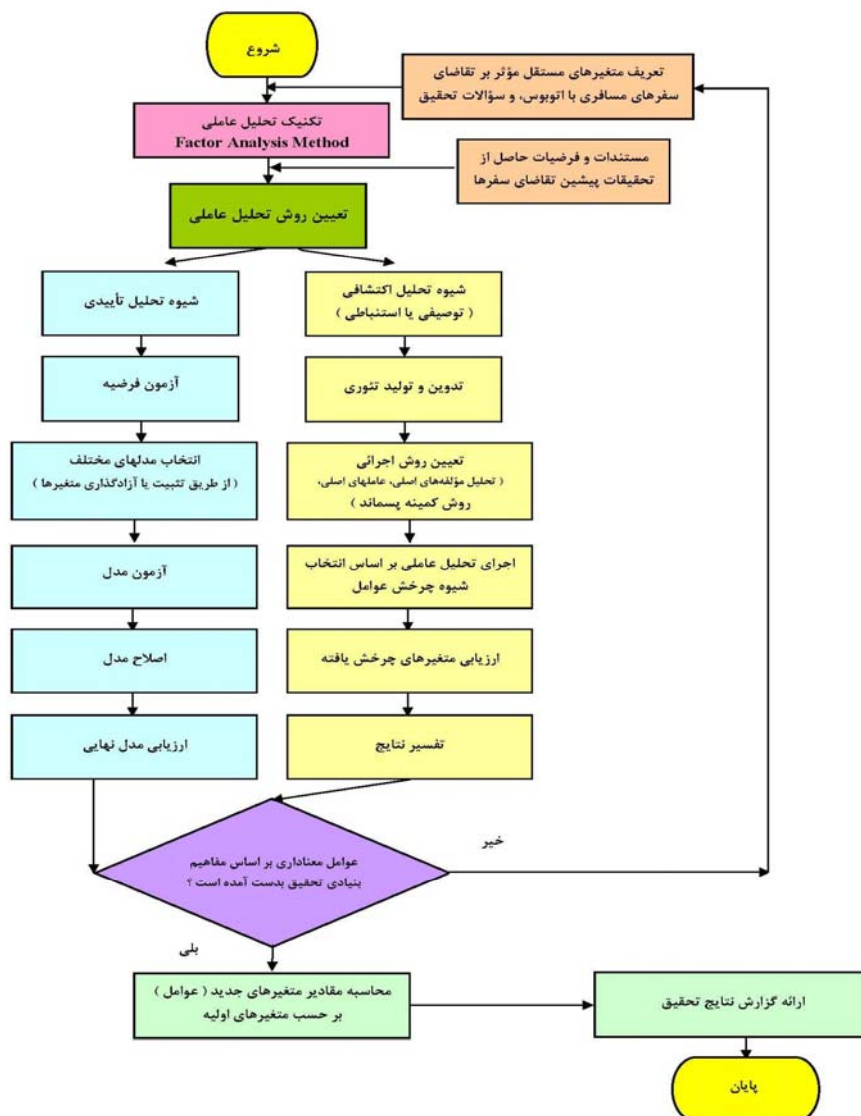
در شبکه کشور را می‌توان با تعداد مجتمع‌های اقامتی (هتل، سوئیت، هتل و ...) در ارتباط دانست. بنابراین پارامتر تعداد تخت مجتمع‌های اقامتی در استانهای مختلف کشور نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر ایجاد سفرهای اتوبوس بین شهری در سیستم حمل و نقل جاده‌ای کشور در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که تلفن همراه تا سالهای اخیر (۱۳۸۳)، به عنوان یک کالای لوکس و مدرن (با قیمت زیاد و زمان انتظار قابل توجه برای دریافت سرویس آن) در کشور مطرح بوده است. با در نظر گرفتن اهمیت این وسیله ارتباطی امروزی، به نظر می‌رسد که ضریب نفوذ تلفن همراه در هر استان می‌تواند به عنوان عاملی مؤثر از رونق وضعیت اقتصادی آن استان و نشانگر غیر مستقیم وضعیت رفاهی خانوارها باشد. بنابراین در این پژوهش، پارامتر تعداد مشترکین تلفن همراه در استانهای مختلف کشور نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر ایجاد سفرهای اتوبوس بین شهری در سیستم حمل و نقل جاده‌ای کشور در نظر گرفته شده است.

به طور خلاصه، می‌توان عوامل مؤثر بر ایجاد تقاضای سفر اتوبوس در سیستم حمل و نقل جاده‌ای کشور را جمعیت استان‌های مختلف کشور (Popu)، تعداد دانشجویان دانشگاه‌های آزاد و دولتی شاغل به تحصیل در استانهای ۲۸ گانه کشور (Stu)، میزان اشتغال در هر استان (Emp)، درآمد سرانه ماهانه خانوارهای شهری هر استان (IncM)، ارزش افزوده فعالیت کارگاه‌های صنعتی هر استان (Vadd)، تعداد مشترکین تلفن همراه هر استان (Mob)، و تعداد تخت مجتمع‌های اقامتی هر استان (Bed) دانست.

همچنین زمان سفر (زمان سفر ورودی (Tbtt) و زمان سفر خروجی (Tbft)) و هزینه سفر (کرایه حمل Cb) به عنوان پارامترهای مؤثر بر انتخاب مُد سفرهای مسافری اتوبوس بین شهری در سیستم حمل و نقل جاده‌ای کشور در نظر گرفته شده است. لازم به یادآوری است که مقادیر زمان سفر از مجموع زمان دسترسی به پایانه مبدأ، زمان انتظار در سالن پایانه، زمان کنترل بلیت و تحویل کالای همراه مسافر، زمان سفر داخل اتوبوس، و زمان دسترسی از پایانه مقصد به مقصد نهایی، بر اساس اطلاعات موجود برای سیستم حمل و نقل جاده‌ای محاسبه شده است. زمان سفر داخل اتوبوس نیز بر اساس فاصله طی شده توسط اتوبوس و میانگین سرعت سیر برآورد شده است. به منظور ارزیابی ۹ پارامتر اصلی (با توجه به تفاوت مقادیر آنها برای سفرهای رفت و برگشت با ۱۷ پارامتر مختلف در دو جهت

به بیان مقادیر مربوط به مقادیر اختصاص یافته به هر عامل و ستونهای جدول به ارایه مقدار کل، درصد واریانس تبیین شده و درصد تراکمی آن به ترتیب برای ارزشهای ویژه آغازین، مجموع مجذور بارهای استخراجی و مجموع مجذور بارهای چرخش یافته می‌پردازد. اگر چه ماتریس چرخش نیافته عوامل برای نمایش اصول کلی نتایج کفایت می‌کند، ولی معمولاً تفسیر نتایج تکنیک تحلیل عاملی بر اساس ماتریس ساختار عاملی، چرخش یافته انجام می‌شود. مهم‌ترین ویژگی ماتریس عاملی، بارهای عاملی است. بار عاملی معرف همبستگی متغیر با عامل است و نتیجتاً همانند هر گونه همبستگی دیگر تفسیر می‌شود.

تحلیل واریانس اولیه و مقادیر بسط داده شده آن برای ۹ متغیر مؤثر بر تقاضای مسافر اتوبوس مسیرهای منتهی به تهران از کلیه مراکز استانها (ورودی)، بیانگر وجود ۳ عامل اصلی از بین ۹ متغیر بررسی شده با مجموع تأثیر ۸۲/۱۰ درصد است. همچنین تحلیل واریانس اولیه و مقادیر بسط داده شده آن برای مسیرهای منتهی به کلیه مراکز استانها از تهران (خروجی) بیانگر وجود ۳ عامل اصلی از بین ۹ متغیر بررسی شده با مجموع تأثیر ۸۰/۹۹ درصد است. جدول ۱ نتایج مجموع واریانس تبیین شده برای متغیرها را در دو جهت سفرهای ورودی به تهران و خروجی از تهران ارایه می‌دهد. شایان ذکر است که سطرهای جدول ۱



شکل ۱. فلوچارت مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری

جدول ۱. نتایج تحلیل مجموع واریانس تبیین شده عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری

الف : در مسیرهای ورودی به تهران

عامل	ارزش های ویژه آغازین			مجموع مجذور بارهای استخراجی			مجموع مجذور بارهای چرخش یافته		
	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی
۱	۴/۲۱۰	۴۶/۷۸۲	۴۶/۷۸۲	۴/۲۱۰	۴۶/۷۸۲	۴۶/۷۸۲	۴۶/۱۳۶	۴۶/۱۳۶	۴۶/۱۳۶
۲	۲/۱۳۹	۲۳/۷۶۳	۷۰/۵۴۵	۲/۱۳۹	۲۳/۷۶۳	۷۰/۵۴۵	۲۴/۳۴۳	۲۴/۳۴۳	۷۰/۴۷۹
۳	۱/۰۴۰	۱۱/۵۵۸	۸۲/۱۰۳	۱/۰۴۰	۱۱/۵۵۳	۸۲/۱۰۳	۱۱/۶۲۳	۱۱/۶۲۳	۸۲/۱۰۳
۴	۰/۸۳۷	۹/۳۰۳	۹۱/۴۰۶						
۵	۰/۴۹۵	۵/۴۹۶	۹۶/۹۰۲						
۶	۰/۱۱۲	۱/۲۴۵	۹۸/۱۴۷						
۷	۰/۷۰۴	۰/۸۱۸	۹۸/۹۶۵						
۸	۰/۰۵۵	۰/۶۰۷	۹۹/۷۵۲						
۹	۰/۰۳۹	۰/۴۲۸	۱۰۰/۰۰۰						

ب : در مسیرهای خروجی از تهران

عامل	ارزش های ویژه آغازین			مجموع مجذور بارهای استخراجی			مجموع مجذور بارهای چرخش یافته		
	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی
۱	۳/۳۱۹	۴۱/۴۸۷	۴۱/۴۸۷	۳/۳۱۹	۴۱/۴۸۷	۴۱/۴۸۷	۳/۲۴۳	۴۰/۵۳۳	۴۰/۵۳۳
۲	۲/۱۲۰	۲۶/۵۰۲	۶۷/۹۸۹	۲/۱۲۰	۲۶/۵۰۲	۶۷/۹۸۹	۲/۱۹۱	۲۷/۳۸۷	۶۷/۹۲۰
۳	۱/۰۴۰	۱۳/۰۰۰	۸۰/۹۸۸	۱/۰۴۰	۱۳/۰۰۰	۸۰/۹۸۸	۱/۰۴۵	۱۳/۰۶۸	۸۰/۹۸۸
۴	۰/۸۲۶	۱۰/۳۲۱	۹۱/۳۰۹						
۵	۰/۴۹۴	۶/۱۷۷	۹۷/۴۸۶						
۶	۰/۱۰۶	۱/۳۳۱	۹۸/۸۱۶						
۷	۰/۵۰۶	۰/۶۹۷	۹۹/۵۱۳						
۸	۰/۰۳۰	۰/۴۷۸	۹۹/۹۹۱						
۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۹	۱۰۰/۰۰۰						

۳ عامل اول به شدت نزول می کند و این موضوع نشان دهنده آن است که برای انتخاب عوامل اصلی، تنها ۳ عامل از ۹ متغیر مورد بررسی، اصلی بوده و دارای ارزش ویژه هستند. شکل ۲ نمودار آزمون Scree برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس در مسیرهای منتهی به تهران از مراکز استانها و نیز مسیرهای منتهی به کلیه مراکز استانها از تهران را نشان می دهد. جدول ۲ نتایج ماتریس عوامل مورد بررسی در تحلیل عاملی در فضای چرخش یافته را برای مسیرهای ورودی به تهران از مراکز استانها و مسیرهای خروجی از تهران به کلیه مراکز استانها را نشان می دهد. (معمولاً عوامل چرخش نیافته، چندان قابل تفسیر نیستند. برای بیشتر معنی دار کردن عاملها، آنها را چرخش می دهند).

آزمون نمودار شیب دار^{۳۶} طرحی از واریانس کل تبیین شده به وسیله هر متغیر را در ارتباط با سایر متغیرها بیان می کند. در این طرح معمولاً عامل های بزرگ در بالا و سایر عوامل با شیبی تدریجی در کنار هم مشاهده می شوند. این گونه طرح ها توسط کتل به آزمون Scree نامگذاری شد. این آزمون مبتنی بر این فرض است که وقتی یک ماتریس پسماند باشد، همه عامل های متوالی استخراج شده از آن ماتریس فقط منعکس کننده واریانس خطاست. تجربه نشان می دهد که اگر k عامل حقیقی وجود داشته باشد، نقطه عطف نمودار شیب دار از عامل k ام آغاز می شود. از بررسی نمودار آزمون Scree برای داده های این پژوهش، ملاحظه می شود که شیب نمودار، هم برای سفرهای ورودی به تهران و هم برای سفرهای خروجی از تهران، بعد از

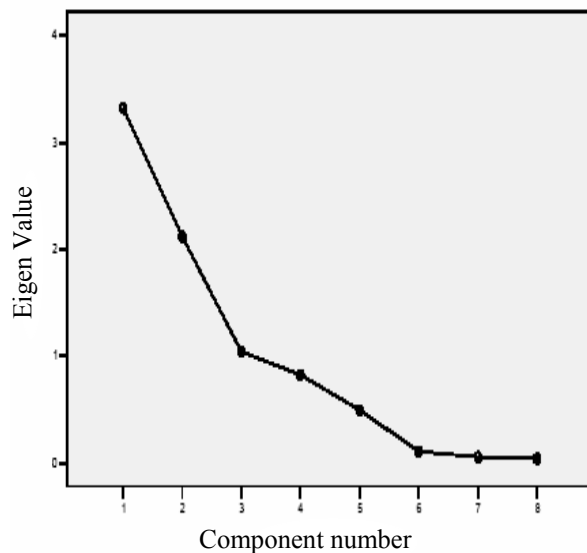
مؤثر بر انتخاب مُد سفر با اتوبوس بین شهری (در مجموع ۹ پارامتر) در نظر گرفته شده است. سپس شیوه انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری با تدوین یک مدل تحلیل عاملی گام به گام ارایه، و در گام بعدی اعتبارسنجی آن بیان شده است. ارزیابی نتایج حاصل از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری نشان می‌دهد که می‌توان ۳ عامل را از بین ۹ متغیر مورد بررسی واقع شده استخراج کرد. عواملی که از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی در این مقاله تعیین می‌شوند با اطمینان حدود ۹۰ درصد در تبیین پارامتر وابسته معنادار بوده‌اند.

بنابراین، این شیوه امکان کنترل پارامترهای بیشتری را در اختیار مدل ساز قرار می‌دهد و نهایتاً بر قابلیت اطمینان نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل‌های منتج از این پارامترها می‌افزاید. همچنین می‌توان با بکارگیری مدل تحلیل عاملی پیشنهادی، پارامترهای بیشتری را بررسی کرده و نهایتاً با استخراج تعداد محدودی عامل اصلی (متغیر جدید از ترکیب خطی پارامترهای اولیه) از آنها به نتایج بهتری برای مدلسازی دست یافت. به این ترتیب می‌توان بکارگیری مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری را (قبل از انجام مدلسازی تقاضای سفرها) به منظور ایجاد امکان توسعه مدل‌های مناسب‌تر برای پیش‌بینی تقاضای سفرها بسیار مناسب دانست.

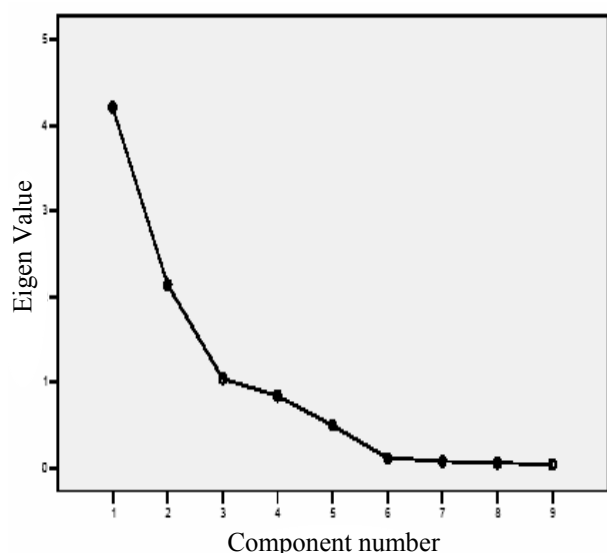
بررسی ماتریس عوامل چرخش یافته بر اساس جدول ۲، نشان دهنده آن است که می‌توان ۳ عامل را از بین ۹ متغیر مورد بررسی واقع شده استخراج کرد. تفسیر مفهومی این ۳ عامل را می‌توان به شکل عامل اول با عنوان «خصوصیات زیربنائی و جمعیتی»، عامل دوم با عنوان «خصوصیات مُد حمل و نقل» و عامل سوم را با عنوان «خصوصیات درآمدی و اشتغال مسافران» بیان کرد. این تفسیر عوامل اصلی به دست آمده از مدل تحلیل عاملی با مفاهیم بنیادی پارامترهای تأثیرگذار بر تقاضای سفر در مباحث نظری مهندسی حمل و نقل نیز سازگاری دارد. بنابراین اجرای مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برا انتخاب فرآیند پارامترهای مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری معتبر است.

۶. نتیجه گیری

مدل تحلیل عاملی پیشنهادی در این مقاله، می‌تواند برای انتخاب پارامترهای مؤثر در مدلسازی تقاضای سفر با اتوبوس استفاده شود. در این مقاله، ابتدا پارامترهای کلاسیک مؤثر بر ایجاد تقاضا برای سفر با اتوبوس به شرح زیر تعیین شدند: جمعیت، تعداد دانشجویان دانشگاه‌های آزاد و دولتی، میزان اشتغال، درآمد سرانه ماهانه خانوارهای شهری، ارزش افزوده فعالیت کارگاه‌های صنعتی، تعداد مشترکین تلفن همراه، و تعداد تخت مجتمع‌های اقامتی. همچنین زمان سفر و کرایه حمل به عنوان پارامترهای



ب : در مسیرهای خروجی از تهران



الف : در مسیرهای ورودی به تهران

شکل ۲. نتایج تحلیل آزمون نمودار Scree برای عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری

جدول ۲. نتایج ماتریس تحلیل عاملی در فضای چرخش یافته برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس در مسیرهای منتهی به تهران از مراکز استانها و بالعکس^{۲۷}

ب : در مسیرهای خروجی از تهران

متغیر	عامل		
	۳	۲	۱
Cb	۰/۰۰۹	۰/۹۷۵	۰/۰۷۱
Tbft	- ۰/۰۱۳	۰/۹۴۴	۰/۰۹۷
Incm	۰/۶۸۵	۰/۳۷۹	- ۰/۱۲۵
Emp	۰/۷۴۳	- ۰/۳۴۴	۰/۱۷۱
Stu	- ۰/۰۳۳	- ۰/۰۳۸	۰/۹۷۳
Popu	- ۰/۰۴۳	۰/۱۶۰	۰/۹۳۷
Vadd	۰/۰۱۳	- ۰/۱۰۵	۰/۷۷۴
Mob	۰/۰۲۷	۰/۰۴۹	۰/۹۶۳
Bed	۰/۱۴۹	۰/۲۲۴	۰/۸۷۲

الف : در مسیرهای ورودی به تهران

متغیر	عامل		
	۳	۲	۱
Cb	۰/۰۰۶	۰/۹۷۵	۰/۰۷۰
Tbtt	- ۰/۰۱۵	۰/۹۴۴	۰/۰۹۶
Incm	۰/۶۷۹	۰/۳۷۹	- ۰/۱۰۲
Emp	۰/۷۴۷	- ۰/۳۴۰	۰/۱۵۲
Stu	- ۰/۰۳۳	- ۰/۰۴۳	۰/۹۴۷
Popu	۰/۰۴۳	۰/۱۵۶	۰/۹۳۵
Vadd	۰/۰۱۱	- ۰/۱۰۹	۰/۷۸۴
Mob	۰/۰۲۷	۰/۰۴۹	۰/۹۶۳
Bed	۰/۱۵۰	۰/۲۲۱	۰/۸۶۰

۷. پانویس ها

۲۴. تنها کرایه بلیط اتوبوس برای هر دو مسیر رفت و برگشت (تقریباً) ثابت است و به مبدأ یا مقصد سفر بستگی ندارد.
 ۲۵. در زمان جمع آوری داده های این مقاله، هنوز کلیه آمار و اطلاعات مربوط به سال ۱۳۸۴ منتشر نشده بود، لذا از داده های مربوط به سال ۱۳۸۳ استفاده شده است.

26. Cattell's Scree Test

27. Extraction Method : Principal Component Analysis (Rotation Method : Varimax with Kaiser Normalization & Rotation Converged : in 3 Iteration)

۸. مراجع

- Abdi, Hervé (2003) "Factor rotations in factor analysis", Encyclopedia of social sciences research methods , In : Lewis-Beck M. , Bryman, A. , Futing T. (Eds.), Thousand Oaks (CA) : Sage.

- Abdi, Hervé (2003) "Multivariate analysis", Encyclopedia of social sciences research methods , Thousand Oaks (CA) : Sage.

1. Factor analysis
2. Factor
3. Charles Spearman
4. Cyril Burt
5. Karl Holzinger
6. Truman Kelly
7. Karl Pearson
8. Godfrey H. Thomson
9. L. L. Thurstone
10. H. Hotelling
11. J. P. Guilford
12. R. B. Cattell
13. Hervé Abdi
14. Principal Component Analysis
15. Covariation
16. Hervé Abdi
17. Quartimax
18. Varimax
19. Equamax
20. Trip Generation
21. Trip Distribution
22. Modal Split
23. Traffic Assignment

data", Bioinformatics, Vol. 17, No. 9, Oxford University Press.

- دلاور، علی و نقشبندی، سیامک (۱۳۸۶) "تحلیل آماری در روان‌شناسی و علوم تربیتی"، نشر ارسباران، تهران.

- سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور (۱۳۸۳) "سالنامه آماری

حمل و نقل جاده‌ای کشور"، تهران: سازمان حمل و نقل جاده‌ای

- سالنامه آماری کشور (۱۳۸۳)، مرکز آمار ایران.

- هومن، حیدرعلی (۱۳۸۰) "تحلیل داده‌های چند متغیری در پژوهش رفتاری"، تهران: نشر پارسا.

- Bhat, C.R. (1995) "A heteroscedstic extreme value model of intercity travel mode choice", Transportation Research Board, Vol. 29, No. 6.

- Ortuzar, Juan de Dios and Willumsen, Luis G. (2001) "Modelling Transport", John Wiley and Sons Ltd., England.

-Wunesch, Karl L. (2006) "Factor analysis", East Carolina University, Department of Psychology.

- Wunesch, Karl L. (2005) "Principal components analysis – SPSS", East Carolina University, Department of Psychology.

- Yeung, K.Y. and Ruzzo, W.L. (2001) "Principal component analysis for clustering gene expression